# HERZZEITVOLUMENMESSUNGEN MIT HILFE DER IMPEDANZKARDIOGRAPHIE VOR UND NACH SCHRITTMACHERIMPLANTATION

Eva Plößl

1979

Aus der II. Medizinischen Abteilung des Städtischen
Krankenhauses München-Schwabing
Chefarzt: Prof. Dr. E. König

---

# HERZZEITVOLUMENMESSUNGEN MIT HILFE DER IMPEDANZKARDIOGRAPHIE VOR UND NACH SCHRITTMACHERIMPLANTATION

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Eva Plößl

aus München

1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der

Universität München

Berichterstatter: Prof. König
Mitberichterstatter: Prof. Zöllner
Dekan: Prof. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 18 Mai 1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535722_0026

# I N H A L T S V E R Z E I C H N I S


| | | Seite |
|---|---|---|
| I. | EINLEITUNG | 1 |
| II. | METHODIK | 4 |
| | 1. Patienten | 4 |
| | 2. Meßprinzip | 6 |
| | 3. Versuchsanordnung | 15 |
| III. | ERGEBNISSE | 18 |
| IV. | TABELLEN | 22 |
| V. | DISKUSSION | 23 |
| | 1. Kritik der Methode | 23 |
| | 2. Diskussion der Ergebnisse | 26 |
| VI. | ZUSAMMENFASSUNG | 33 |
| VII. | LITERATUR | 34 |
| VIII. | LEBENSLAUF | 45 |

# I. EINLEITUNG

Seit Zoll 1952 die Durchführbarkeit einer elektrischen Herzstimulation bei geschlossenem Thorax zeigte (52) und Senning und Chardack und Mit. (17) 1958 die klinische Anwendbarkeit einer direkten Stimulation des Myokards über ein implantierbares System demonstrierten, wurde die Anwendung von Herzschrittmachern zu einer wichtigen, zum Teil lebensrettenden Therapie für Patienten mit bestimmten Formen von Herzrhythmusstörungen. Einer der wichtigsten Parameter zur Beurteilung der Frage, in welchem Maße sich die Herzfunktion des Patienten geändert hat, ist das Herzzeitvolumen. Daher ist die Überprüfung der Wirksamkeit dieser Therapie bei verschiedenen Indikationsstellungen nicht nur klinisch, sondern in Form von objektiven Meßdaten von großem Interesse.

Da die bisher gebräuchlichen Methoden zur Bestimmung des Herzzeitvolumens (Ficksches Prinzip, Indikatorverdünnungsmethoden) das Einführen eines Herzkatheters bzw. eines intraarteriellen Katheters nötig machen, ist ihre Anwendbarkeit begrenzt und ihre Wiederholbarkeit in unterschiedlichem Maße limitiert. Eine Verlaufsbeobachtung des Herzzeitvolumens über mehrere Wochen nach Implantation eines Schrittmachers ist daher mit den herkömmlichen Methoden den Patienten kaum zumutbar.

Eine neue Möglichkeit zur Beobachtung der Herzzeitvolumenveränderung durch Schrittmacherimplantation, auch über einen größeren Zeitraum, mit risikolosen, beliebig oft wiederholbaren Messungen bietet die Impedanzkardiographie (31).
Diese neue Methode verdankt ihre Entwicklung im wesentlichen einem Auftrag der NASA (National-Aeronautics and Space Administration-Manned-Spacecraft-Center, Houston/Texas) ohne invasives Vorgehen die Herzzeitvolumina der Astronauten während ihres Einsatzes im Weltraum messen zu können. Kubicek und Mit. (30,31,32) griffen bei ihrer Entwicklungsarbeit auf eine schon 1932 von Atzler und Lehmann (5) gemachte Beobachtung zurück, daß sich der Wechselstromwiderstand (= Impedanz) des Thorax mit der Herzaktion ändert.

Auf dieser Grundlage entwickelten Kubicek et al. eine nicht invasive, für den Patienten ungefährliche und unbegrenzt wiederholbare Methode zur Messung des Herzzeitvolumens.

Diese Arbeit will mit Hilfe der Impedanzkardiographie die Veränderungen des Herzzeitvolumens durch Implantation eines Schrittmachers bei Patienten mit Sinusbradycardie, absoluter Arrhythmie mit Vorhofflimmern und AV-Block II-III messen und über einen Zeitraum von sechs Wochen verfolgen.
Das Anliegen dieser Arbeit ist es, bei Patienten mit verschiedenen Herzrhythmusstörungen, bei denen ein Schrittmachersystem implantiert wurde, die Veränderungen der Herzzeitvolumina vor und nach Implantation über einen längeren Zeitraum zu verfolgen. Insbesondere interessierte hierbei die Frage, ob in allen Fällen eine Verbesserung der Hämodynamik, gemessen am Herzzeitvolumen, erreicht wird, oder ob bestimmte Patienten sogar mit einer Ver-

schlechterung der Flußwerte reagieren, wie dies wiederholt in der Literatur (1, 19, 39) mitgeteilt wurde.

Bei Patienten mit schwerer myokardialer Insuffizienz ist die Vorhofkontraktion für die Hämodynamik von großer Bedeutung (2). Es ist daher zu erwarten, daß bei Patienten mit Sinusbradycardie oder SA-Blockierung, aber ungestörten AV-Überleitungen, die mit einem Schrittmachersystem versorgt wurden, welches die spontane Herzreaktion des Patienten überspielt, trotz Frequenzsteigerung eine hämodynamische Verschlechterung eintritt.

Andererseits ist bei Patienten mit primär unkoordinierter Vorhof-Kammer Aktion durch eine Beschleunigung der Herzfrequenz bzw. eine schrittmacher-induzierte Regulierung der Herztätigkeit eine Verbesserung der Hämodynamik zu erwarten.

## II. MEHODIK

### 1. Patienten

Es wurden 15 Patienten untersucht, bei denen aus folgenden Indikationen ein Schrittmacher implantiert wurde:

I.) A. N. ♀ ,68 Jahre — absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern, mittl. Kammerfrequenz 50, Verdacht auf Adams-Stokes-Anfälle, Klin. Ins. Grad II - III;

II.) M. W. ♀ 81 Jahre — Extreme Sinusbradycardie, intermitt. SA-Blockier. mit Ersatzschlägen, Klin. Ins. Grad: II - III;

III.) A. Sch. ♀ 74 Jahre — extreme Sinusbradycardie mit Synkopen, Klin. Ins. Grad: II - III;

IV.) O. M. ♂ 75 Jahre — absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern, rechts- und links-ventrikuläre Erregungsrückbildungsstörung, Klin. Ins. Grad: II - III;

V.) H. Sch. ♂ 74 Jahre — AV-Block III, Kammerfrequenz 46/min., Klin. Ins. Grad: II;

VI.) J. N. ♂ 70 Jahre — Hinterwandinfarkt, AV-Block III, Klin. Ins. Grad: III;

VII.) K. B. ♂ 76 Jahre — Sinusbradycardie; Digitalisunverträglichkeit, Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: II;

VIII.) M. P. ♀ 63 Jahre — absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern; Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: II;

IX.) S. S. ♂ 61 Jahre — AV-Block III, Klin. Ins. Grad: III;

X.) E. M. ♀ 73 Jahre — extreme Sinusbradycardie, Frequenz um 40, Klin. Ins. Grad: II;

XI.) G. B. ♀ 74 Jahre — absolute Bradyarrhythmie bei Vorhofflimmern, Klin. Ins. Grad: III;

XII.) E. F. ♂ 84 Jahre — Bradyarrhythmie, Ersatzrhythmus aus dem oberen AV-Knoten, Frequenz um 40, Klin. Ins. Grad: II - III;

XIII.) A. C. ♀ 61 Jahre — Sinusbradycardie, Frequenz 40 - 50/min. Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: III;

XIV.) A. J. ♂ 77 Jahre — absolute Bradyarrhythmie, Ersatzrhythmus um 35, Klin. Ins. Grad: II;

XV.) E. G. ♀ 87 Jahre — Zustand nach Infarkt, AV-Block, Klin. Ins. Grad: II;

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 80 ± 5,5 Jahre (61 - 87 Jahre).
Die Indikation zur Schrittmacherimplantation wurde gestellt, nachdem konservativ-medikamentöse Maßnahmen einen außerordentlich unbefriedigenden Erfolg hatten, bzw. bei Vorliegen einer eindeutigen Adams-Stokes Symptomatik.

Je nach vorliegender Rhythmusstörung wurden die Patienten in 2 Gruppen eingeteilt.

I. Gruppe K

umfaßt solche Patienten (Nr.: II, III, VII, X, XIII), die vor der Schrittmacherimplantation eine koordinierte Vorhof-Kammer Aktion aufwiesen, bei denen also eine ungestörte AV-Überleitung vorlag.

II. Gruppe UK

bestand aus 10 Patienten (I, IV, V, VI, VIII, IX, XI, XII, XIV, XV), bei denen keine koordinierte Vorhof-Kammer Tätigkeit bestand; also Patienten mit Vorhofflimmern, AV-Block III bzw. subtotalem AV-Block.

## 2. Meßprinzip

Das Prinzip der Impedanzkardiographie beruht auf zwei grundsätzlichen Aussagen der Elektrizitätslehre:

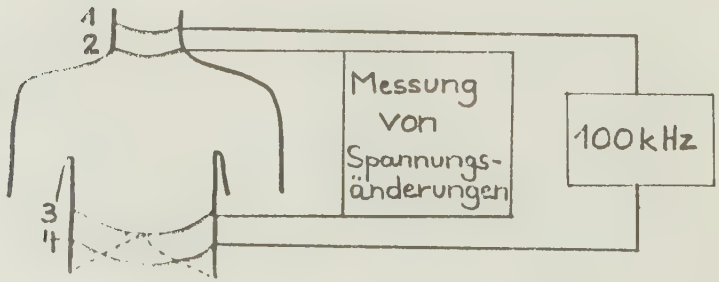
Erstens auf dem Ohmschen Gesetz, wonach das Verhältnis von Spannung und Stromstärke abhängig ist vom Widerstand in einem Stromkreis.
Der zweite Lehrsatz beruht auf der Entdeckung Michael Faradays, der 1831 nach jahrelangen Versuchen das Phänomen der Induktion beschreibt: Bringt man in ein elektromagnetisches Kraftfeld einen Leiter, so fließt in diesem Strom. Jede Änderung der Lage des Leiters zum Kraftfeld löst einen neuen Stromfluß aus. Nimmt man nun als Leiter eine strömende Elektrolytflüssigkeit (z. B. Blut) in ein elektromagnetisches Kraftfeld, so fungiert diese als bewegter Leiter und induziert Spannung. Diese Spannung ist proportional dem elektromagnetischen Kraftfeld und der über dem Gefäßquerschnitt gemittelten Strömungsgeschwindigkeit des Blutes. Bei der Schlagvolumensmessung des Herzens mit Hilfe der Impedanzkardiographie wird die transthorakale Impedanz gemessen. Hierzu wird statt eines elektromagnetischen Kraftfeldes ein hochfrequentes Wechselstromfeld angelegt. Der Wechselstromwiderstand, Impedanz genannt, ist nach dem Ohmschen Gesetz durch das Verhältnis von Spannung und Stromstärke gegeben.

Schon 1932 hatte Atzler (5) Versuche angestellt, um die Volumenschwankungen des Herzens am Patienten elektrisch aufzuzeichnen. Er plazierte den menschlichen Thorax als Dielektrikum zwischen zwei Kondensatorplatten, an denen er einen Schwingkreis nach Anlegen eines Wechselstromkreises induzierte. Die Kapazität der Kondensatorplatten wurde durch Volumenschwankungen des sich im elektrischen Feld befindlichen Thorax verändert. Nach Gleichrichtung und entsprechender Verstärkung bekam er eine Kurve der

Kapazitätsschwankungen und damit der Volumenschwankungen. Die rechnerische Auswertung dieser Kurve war damals nicht möglich.

Auf dem Prinzip der Atzlerschen Versuche beruht die heutige Impedanzkardiographie. Bei richtig gewählter Leitfrequenz und konstanter Stromstärke verändert die Herzaktion die Stromdichtenverteilung des menschlichen Thorax und somit seine Impedanz. Man erhält also über die Impedanzveränderungen die Volumenschwankungen im Thorax. Dabei geht man von der Vorstellung des menschlichen Thorax als homogener leitfähiger Zylinder mit einer homogenen Stromdichtenverteilung aus. (Die Stromdichtenverteilung im menschlichen Gewebe ist durch die verschiedenen Gewebeanteile mit ihren spezifischen elektrischen Leitungswiderständen bestimmt. Für Blut ist ein Wert von 150 Ohm bei 37,5°C, Hkt. 41%, 100 kHz, bestimmt worden.)

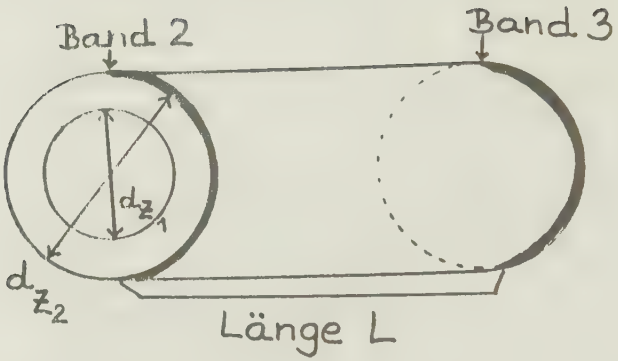
Kubicek und Mit. (30) entwickelten ein tetrapolares System,bei dem zwei bandförmige Aluminiumbänder um den Hals, und zwei um den Thorax gelegt werden. (Orientierungsmarke für Band 3 ist das Xyphoid).



Zwischen Band 1 und Band 4 wird ein hochkonstanter sinoider Wechselstrom von 4mA und 100 kHz erzeugt und durch den Thorax geleitet.

Schon D'Arsonval (4) hatte 1893 gezeigt, daß Frequenzen über 5 kHz ohne Empfindung vom menschlichen Körper toleriert werden.
Für die Impedanzkardiographie war es nötig, eine biologisch unwirksame (d. h.: keine Wärmewirkung auf das Gewebe, keine stimulierende Wirkung auf das Myokard) Frequenz und Stromstärke zu finden, bei der das Blut in Relation zu den übrigen Gewebsanteilen eine optimale Leitfähigkeit besitzt. Dazu muß der Wechselstrom die Thoraxwand durchdringen und zwischen den Elektroden 1 und 4 in den Blutgefäßen fließen, ohne Wirkung auf die umliegenden Gewebe, die einen wesentlich größeren spezifischen Widerstand haben.
Da die elektrische Leitfähigkeit innerhalb von tierischem und menschlichem Gewebe von der Zahl der vorhandenen Ionen abhängt und ihre Konzentration, insbesondere in der extrazellulären Flüssigkeit, weitgehend konstant ist, besteht eine Beziehung zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Volumen der Extrazellulärflüssigkeit.
Eine Änderung der elektrischen Leitfähigkeit ist daher Ausdruck einer Volumenänderung.
Bei konstanter Stromstärke I ist gemäß dem Ohmschen Gesetz $I = U/R$ ($R = Z$ Impedanz bei Wechselstrom) die Spannung U proportional der Impedanz Z. Diese Spannungsänderung wird zwischen den Elektroden 2 und 3 abgenommen und registriert.

Um den Zusammenhang in eine Formel fassen zu können, betrachtet man den menschlichen Thorax als Hohlzylinder mit der Länge L und der Grundfläche $A_{z2} - A_{z1}$, an dessen Enden die Elektroden Band 2 und Band 3 liegen!




Für den inneren Zylinder $Z_1$ gilt:

$$R_{z1} = \varrho \times \frac{L}{A_{z1}}$$

A = Grundfläche
$\varrho$ = spezifischer Widerstand des Blutes

Für den größeren Außenzylinder gilt:

$$R_{z2} = \varrho \times \frac{L}{A_{z2}}$$

$$\Delta R = R_{z2} - R_{z1}$$

$$\Delta R = \varrho \frac{L}{A_{z2}} - \varrho \frac{L}{A_{z1}}$$

$$\Delta R = \varrho \, L \left(\frac{1}{A_{z2}} - \frac{1}{A_{z1}}\right)$$

Setzt man für

$$V = L \times A, \quad A = \frac{V}{L},$$

so ergibt sich

$$\Delta R = \varrho \, L \times \frac{L}{V_{z2}} - \frac{L}{V_{z1}}$$

$$\Delta R = \varrho \, L^2 \frac{(V_{z2} - V_{z1})}{V_{z2} \times V_{z1}}$$

gilt:

$$\Delta V = V_{z2} - V_{z1}$$

so ist:

$$\Delta R = \varrho \times \frac{L^2}{V_{z1}^2} \times \Delta V$$

setzt man statt R die Impedanz $Z_o$

$$Z_o = \rho \times \frac{L}{A_{z1}} \quad \text{und multipliziert mit} \quad \frac{L}{L}$$

so ergibt

$$Z_o = \rho \times \frac{L^2}{V_{z1}} \quad \text{oder} \quad V_{z1} = \frac{L^2 \times \rho}{z_o}$$

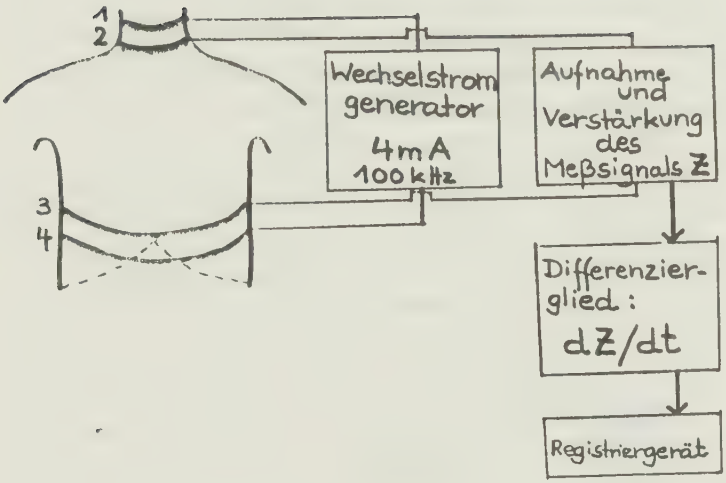
eingesetzt in die obige Formel

$$\Delta Z = \frac{z_o^2}{\rho \times L^2} \Delta V$$

$$\Delta V = \rho \times \frac{L^2}{z_o^2} \times \Delta Z \quad \text{(nach Geddes (21))}$$

In dieser Formel bedeutet $\Delta V$ die Volumenänderung, $\rho$ = spezifischer Leitwiderstand des Blutes, L = Abstand der Elektroden 2 und 3 ventral am Thorax gemessen, $Z_o$ ist die Grundimpedanz und $\Delta Z$ die Impedanzänderung.

Kubicek und Mit. entwickelten die Formel auf empirischer Grundlage weiter.
Aus der Änderung der Impedanz $\Delta Z$ wird mit Hilfe eines Differenziergliedes die erste Ableitung nach der Zeit $dZ / dt$ gebildet. Dieses Signal kann über den Registrierausgang des Gerätes mit einem beliebigen Schreiber oder Direktschreiber verbunden werden:



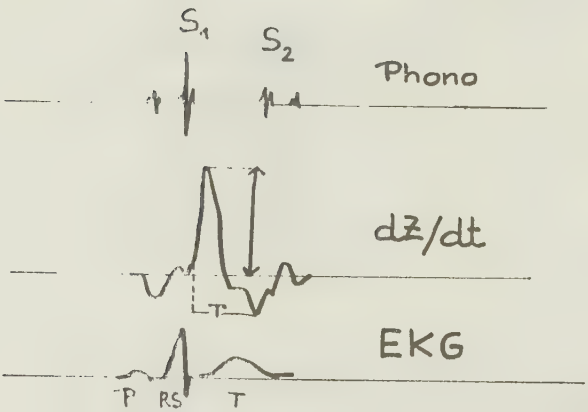

Aus der so geschriebenen Kurve wird die maximale negative Impedanzänderung dZ/dt, d. h. der größte Ausschlag der Kurve nach oben von der Eichungslinie aus gerechnet.

Die Formel zur Berechnung des Schlagvolumens des Herzens lautet (nach Kubicek (30)):

$$SV = S \times \frac{L^2}{Z_o^2} \times (dZ/dt)_{min.} \times T$$

Kubicek nimmt die Austreibungszeit T (gemessen in sec.) mit in die Formel hinein. So ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Kurve dZ/dt mit der Null-Linie beim Steilanstieg bis zum Aortenklappenschluß (dem x-Punkt der

dZ/dt-Kurve). Um die Impedanzkurve, die bei den Messungen oft von ihrer Idealform abweicht, besser auswerten zu können, werden mit dem Dreifachschreiber EKG und Phonokardiogramm mitregistriert. So kann der Punkt x (nach Lababidi (34)) als erster Anteil des zweiten Herztones besser bestimmt werden.



## 3. Versuchsanordnung

Zur Durchführung der Impedanzkardiographie verwendeten wir den Minnesota Impedanz Cardiograph Model 202 A, der im wesentlichen von Kubicek und Mit. entwickelt wurde. Um den Hals und um den Thorax des Patienten werden Elektroden, die aus elektrisch leitenden Aluminiumstreifen (3M-Elektroden tape N. M-6001), angebracht auf selbstklebendem Polyesterband, bestehen, angelegt und folgendermaßen befestigt:

| | |
|---|---|
| Nr. 1 | 3 cm cranial von Nr. 2 |
| Nr. 2 | am unteren Halsrand |
| Nr. 3 | am Sternoxiphoidalgelenk |
| Nr. 4 | ca. 5 cm caudal von Nr. 3 |

Zwischen Band 1 und Band 4 wird ein sinoidaler, biologisch unwirksamer Wechselstrom mit einer Frequenz von 100 kHz angelegt. Die Stromstärke beträgt 4 mA. Die Spannungsänderungen, die sich durch die Impedanzänderungen als Folge der thorakalen Blutvolumenschwankungen ergeben, werden von den Elektroden Band 2 und Band 3 abgegriffen, gleichgerichtet und in einem Hochleistungsverstärker gemessen. Die Aluminium-Band-Elektroden werden mit Krokodilklemmen an einem Kabel mit dem Impedanzkardiographen verbunden. Zur Registrierung von dZ/dt wird das Gerät mit einem Mehrfachschreiber (Fabrikat: Schwarzer Physioscript) verbunden.

Auf Kanal 1 wird das Phonokardiogramm,
auf Kanal 2 wird das EKG,
auf Kanal 3 wird die Impedanzkurve,
nach Eichung des Geräts mit 1 cm = 1 Ohm

synchron geschrieben.

$Z_o$ wird vom Impedanzkardiograph abgelesen und der Mittelwert aus den, während der Messung angezeigten Werten, gebildet.
Die Messung wird im Stadium des Apnoe nach normaler Expiration gemacht. Die Werte für $dZ/dt_{max.}$ und für die Austreibungszeit T werden aus dem Mittelwert von 10 Einzelaktionen errechnet.

Für den Wert $\rho$ (= spezifischer Leitungswiderstand für die Stromdichtenverteilung im Blut) setzten wir

den von Pomerantz (45) angegebenen und vom Hersteller des Geräts empfohlenen Wert von 135 Ohm.
Für die Länge L nahmen wir den von Pomerantz (45) empfohlenen kürzesten Abstand zwischen den Elektroden 2 und 3, ventral über dem Sternum gemessen.

Das Schlagvolumen wurde nach der Formel:

$$ml\ SV = 135 \frac{Ohm}{sec.} \times \frac{L^2 cm}{z_o^2} \times dZ/dt \times T_{sec.}$$

errechnet.
Das Herzzeitvolumen wurde aus Schlagvolumen und Herzfrequenz in Liter/min. errechnet.

Für die Schrittmachertherapie wurden Modelle der Firmen Medtronic, Edwards, Cordis, Stanium, Vitatron, Biotronic und CPI implantiert.

Es handelte sich ausschließlich um QRS-inhibierte, ventrikelstimulierende Demand-Schrittmacher mit Stimulationsfrequenzen von 70 ± 2/min$^{-1}$.

Bei den Patienten wurde das Herzzeitvolumen während der Schrittmacheroperation vor und nach dem Einbau des Schrittmachers gemessen. Ebenso wurden die Herzzeitvolumina der Patienten am ersten, zweiten, dritten und am zehnten postoperativen Tag gemessen.
Abschließend wurde nach Ablauf von 6 Wochen, wenn die Patienten zur Kontrolle ihres Schrittmachers ambulant das Krankenhaus aufsuchten, gemessen. Es wurde versucht, die Meßelektroden die ersten drei Tage unverändert am Patienten zu belassen, um die Versuchsbedingungen möglichst konstant zu halten.

Obwohl die Impedanzkardiographie keine verläßlichen Absolutwerte für das Herzzeitvolumen liefert (12, 41), erscheint sie geeignet, relative Änderungen dieser Größe hinreichend zu registrieren.
Aus diesem Grunde wurden die Zahlen als prozentuale Steigerung im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert berechnet, wobei der Ausgangswert gleich 100% gesetzt wurde.

## III. ERGEBNISSE

Das wichtigste und auffallendste Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß die Patienten mit einer präoperativen koordinierten Vorhof-Kammer Herzaktion (Indikation: Sinusbradycardie), in den Tabellen abgekürzt K, ein völlig konträres Verhalten nach Einbau des Schrittmachers zeigten, zu den Patienten, die schon vor dem Einbau des Schrittmachers über keine koordinierte Vorhof-Kammer Herzaktion (Indikation: Absolute Arrhythmie, AV-Block), in den Tabellen abgekürzt UK,verfügten, zeigten.

### I. Die K-Gruppe

Die Patienten dieser Gruppe fielen nach Einbau des Schrittmachers in ihrem Herzminutenvolumen signifikant ab. Das Ausmaß der Schlagvoluminareduktion war so stark, daß auch die deutlich höhere Frequenz von 70/min. das Herzzeitvolumen nicht auf dem Ausgangspunkt halten konnte.
Durchschnittlich fiel das Herzzeitvolumen der Patienten am Operationstag der Schrittmacher-Implantation auf 84% des Ausgangswertes (Ausgangswert ist das Herzzeitvolumen, das die Patienten am Operationstag bei Eigenrhythmus erreichten). Am ersten Tag nach der Operation sank es weiter (Mittelwert 76% des Ausgangswertes); am zweiten postoperativen Tag beträgt es nur noch 66% (Mittelwert) und erreicht am dritten postoperativen Tag den niedrigsten Wert mit 62%.

Zu diesen Zahlen paßt die Beobachtung, daß es bei einzelnen Patienten dieser Gruppe in den ersten postoperativen Tagen zu Verwirrtheitzuständen oder ähnlichen Äquivalenten einer cerebralen Minderdurchblutung kam.
Am zehnten postoperativen Tag liegt der Mittelwert bei 71%. Das Ausgangsherzzeitvolumen erreichen die Patienten während der sechswöchigen Untersuchungsperiode nicht.
Bei der statistischen Auswertung dieser Ergebnisse nach der Verteilung für korrellierende Stichproben (nach Student), wobei immer zwei Ergebnisse miteinander verglichen werden, um festzustellen, ob sie sich signifikant unterscheiden, ergab sich:
Der Abfall des Herzzeitvolumens vom Ausgangswert (Eigenrhythmus des Patienten) zur postoperativen Messung am Operationstag ist mit $p < 0,0025$ signifikant. Beim Vergleich Ausgangswert / zweiter postoperativer Tag liegt die Signifikanz ebenfalls bei $p < 0,0025$. Der Tiefpunkt der Herzzeitvolumen-Kurve am dritten postoperativen Tag ist mit $p < 0,001$ hochsignifikant vom Ausgangswert bei Eigenrhythmus verschieden.
Der weitere Abfall des Herzzeitvolumens vom ersten postoperativen Wert am Operationstag zum Wert des dritten postoperativen Tages ist mit $p < 0,005$ ebenfalls signifikant. Der Wiederanstieg am zehnten postoperativen Tag und der weitere Anstieg des Herzzeitvolumens nach sechs Wochen sind mit $p < 0,005$ und $p < 0,025$ signifikant; gegenüber dem Kontrollwert bleibt jedoch das Herzzeitvolumen auch nach sechs Wochen signifikant ($p < 0,05$) erniedrigt. Die Reduktion des Herzzeitvolumens ging entsprechend der schrittmacher-induzierten Frequenzerhöhung mit einem stärkeren Abfall des Schlagvolumens einher.

So kann man zusammenfassend sagen, daß in dieser Patientengruppe, die vor Implantation eines ventrikelstimulierenden Schrittmachers über eine koordinierte Vorhof-Kammer Herzaktion verfügten, die Herzzeitvolumina nach Einbau der Schrittmacher deutlich abfielen, mit einem Tiefpunkt der Kurve am dritten postoperativen Tag. Vom zehnten postoperativen Tag findet sich eine aufsteigende Tendenz der Kurve bis hin zum 6-Wochen-Kontrolltermin, der den höchsten Herzzeitvolumen-Wert mit Schrittmacherrhythmus verzeichnet. Jedoch wird das Ausgangs-Herzzeitvolumen vor Einbau des Schrittmachers nicht mehr erreicht.

## II. Die UK-Gruppe

Ganz anders sehen die Ergebnisse bei der Patientengruppe UK aus, die schon vor Schrittmacherimplantation über keine koordinierte Vorhof-Kammer Herzaktion verfügten. Diese Patientengruppe steigert deutlich das Herzzeitvolumen nach Schrittmacherimplantation. Unmittelbar Schrittmachereinbau am Operationstag beträgt es im Mittelwert 127% des Ausgangsherzzeitvolumens bei Eigenrhythmus. Dieser Wert steigert sich bis 141% am ersten postoperativen Tag. Am zweiten und dritten postoperativen Tag liegen die Mittelwerte bei 138% und 139% des Ausgangswertes. Der zehnte Tag bringt einen relativen Abfall auf 127% des Ausgangswertes, diese abfallende Tendenz setzt sich fort bis zu 119% des Ausgangswertes am 6-Wochen-Kontrolltermin.
Die statistische Untersuchung dieser Daten ergibt für den Vergleich Eigenrhythmus / Schrittmacherrhythmus: am Operationstag mit $p < 0{,}001$ einen hochsignifikanten Anstieg, für den Vergleich Eigenrhythmus / erster postoperativer Tag einen Wert von $p < 0{,}001$.

Auch der Anstieg der Kurve des Herzzeitvolumen-Wertes bei Schrittmacherrhythmus am Operationstag zum Maximum der Kurve am ersten postoperativen Tag ist mit $p < 0{,}0025$ signifikant.
Der Abfall der Kurve vom ersten postoperativen Tag (Maximum des Herzzeitvolumen-Wertes) zum zehnten postoperativen Tag und zum 6-Wochen-Kontrolltermin ist mit $p < 0{,}05$ signifikant.

So kann man zusammenfassend über das Herzzeitvolumen bei der UK-Gruppe sagen, daß es nach Einbau eines ventrikelstimulierenden Schrittmachers deutlich zunimmt, am ersten postoperativen Tag ein Maximum erreicht, die nächsten zwei Tage ungefähr diesen Wert hält, sich ab dem zehnten postoperativen Tag verringert, und nach sechs Wochen ungefähr 20% über dem Ausgangswert liegt. Dieser 6-Wochen-Wert liegt immer noch mit $p < 0{,}0025$ signifikant über dem Ausgangswert.

## IV. TABELLEN

I. K-Gruppe

1. Einzelergebnisse

2. Mittelwert, Standardabweichung

3. Graphische Darstellung

II. UK-Gruppe

1. Einzelergebnisse

2. Mittelwert, Standardabweichung

3. Graphische Darstellung

III. Statistische Auswertung mit Hilfe der Studentverteilung für korrelierende Stichproben

## Einzelergebnisse

| | | |
|---|---|---|
| L | = | Länge in cm |
| $Z_o$ | = | Grundimpedanz |
| dZ/dt | = | maximaler Ausschlag der Impedanzkurve in cm |
| T | = | Austreibungszeit in sec. |
| SV | = | Schlagvolumen in ml |
| HZV | = | Herzzeitvolumen in ml |
| % d. AW | = | % des Ausgangswertes |
| Eigen | = | Eigenrhythmus Frequenz/min. |
| Schrittm | = | Schrittmacherrhythmus |

K. B. ♂, 76 Jahre — Sinusbradycardie; Digitalisunverträglichkeit, Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: II;

K

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d.AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 75 | 22 | 20.7 | 1.5 | 0.30 | 68.6 | 5146 | |
| Schrittm | 22 | 20.1 | 1.4 | 0.24 | 54.3 | 4347 | 84% |
| 1. Tag | 23 | 22.2 | 1.6 | 0.29 | 67.3 | 4715 | 92% |
| 2. Tag | 23 | 25.0 | 1.8 | 0.25 | 51.4 | 3599 | 70% |
| 3. Tag | 23 | 25.0 | 1.8 | 0.24 | 49.4 | 3455 | 67% |
| 10. Tag | 23 | 24.6 | 1.8 | 0.26 | 55.0 | 3859 | 75% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23 | 24.4 | 1.7 | 0.27 | 55.14 | 3860 | 76% |

E. M. ♀ , 73 Jahre — extreme Sinusbradycardie, Frequenz um 40, Klin. Ins. Grad: II;

k

| | L | $Z_o$ | dz/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 49 | 22.5 | 27.3 | 2.3 | 0.35 | 73.8 | 3617 | |
| Schrittm | 22.5 | 27.5 | 1.0 | 0.26 | 23.8 | 1666 | 46% |
| 1. Tag | 22.5 | 28.8 | 2.5 | 0.26 | 53.6 | 3751 | 103% |
| 2. Tag | 22.5 | 27.4 | 1.4 | 0.25 | 31.0 | 2170 | 60% |
| 3. Tag | 22.5 | 26.9 | 1.1 | 0.25 | 26.9 | 1881 | 52% |
| 10. Tag | 22.0 | 26.8 | 1.0 | 0.25 | 22.7 | 1592 | 44% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.5 | 22.2 | 0.7 | 0.26 | 27.5 | 1927 | 53% |

C. A. ♀ , 61 Jahre — Sinusbradycardie, Frequenz 40 - 50/min. Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: III;

k

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 73 | 26.0 | 26.8 | 1.6 | 0.29 | 58.9 | 4420 | |
| Schrittm | 26.0 | 26.8 | 1.7 | 0.28 | 60.5 | 4234 | 96% |
| 1. Tag | 26.0 | 27.2 | 1.7 | 0.25 | 52.4 | 3670 | 83% |
| 2. Tag | 24.5 | 28.3 | 1.8 | 0.24 | 43.7 | 3062 | 69% |
| 3. Tag | 24.5 | 26.0 | 1.3 | 0.28 | 43.6 | 3050 | 69% |
| 10. Tag | 25.5 | 26.7 | 1.6 | 0.29 | 57.1 | 3998 | 90% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 26.0 | 26.6 | 1.5 | 0.33 | 63.8 | 4472 | 101% |

A. Sch. ♀ , 74 Jahre — extreme Sinusbradycardie mit Synkopen

K — Klin. Ins. Grad: II - III

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 75 | 25.0 | 26.1 | 1.6 | 0.33 | 65.4 | 4905 | |
| Schrittm | 25.0 | 25.0 | 1.7 | 0.26 | 59.7 | 5370 | 109% |
| 1. Tag | 22.0 | 27.1 | 1.5 | 0.25 | 33.4 | 2335 | 48% |
| 2. Tag | 23.5 | 28.1 | 1.6 | 0.25 | 37.8 | 2644 | 54% |
| 3. Tag | 24.0 | 26.2 | 1.4 | 0.25 | 37.7 | 2648 | 58% |
| 10. Tag | 23.0 | 25.0 | 1.2 | 0.24 | 32.9 | 2304 | 47% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.5 | 27.1 | 1.8 | 0.25 | 46.2 | 3237 | 66% |

M. W. ♀ , 81 Jahre — Extreme Sinusbradycardie, intermitt. SA-Blockier. mit Ersatzschlägen,

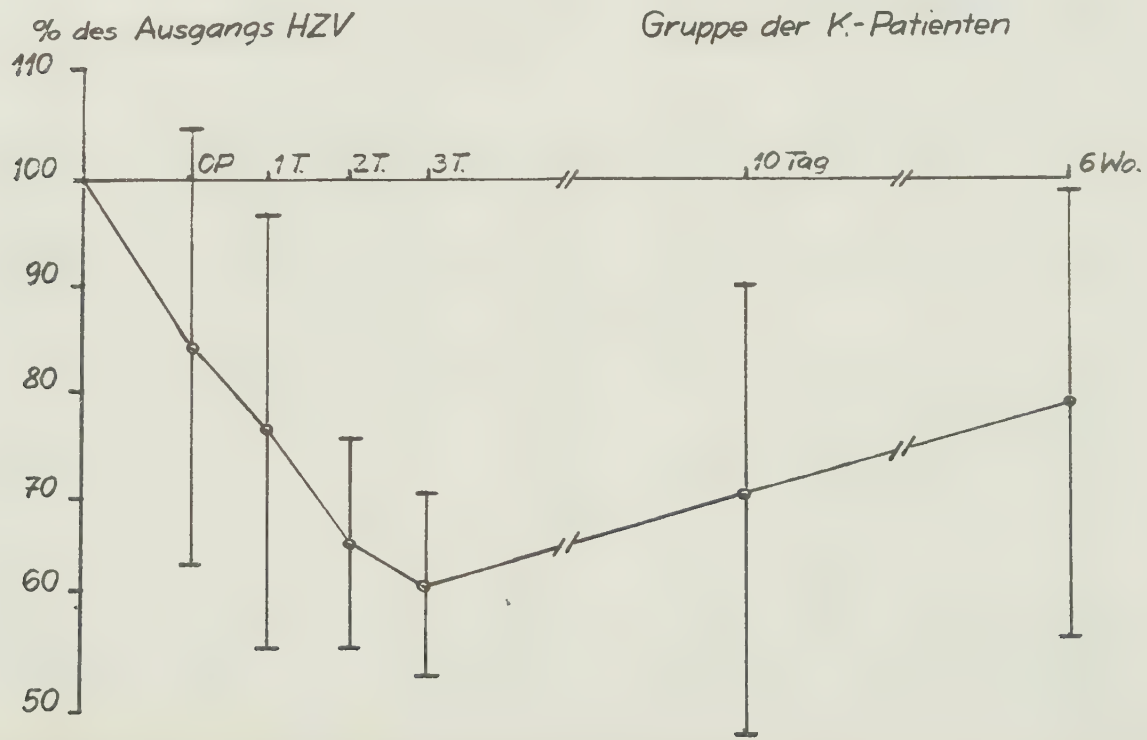
K — Klin. Ins. Grad: II - III;

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 63 | 23.0 | 33.1 | 2.2 | 0.33 | 47.3 | 2980 | |
| Schrittm | 23.0 | 32.3 | 1.6 | 0.33 | 36.2 | 2530 | 85% |
| 1. Tag | 21.0 | 34.5 | 2.7 | 0.24 | 32.4 | 2269 | 76% |
| 2. Tag | 22.5 | 36.1 | 2.4 | 0.26 | 32.7 | 2291 | 77% |
| 3. Tag | 21.0 | 34.9 | 2.4 | 0.24 | 28.15 | 1971 | 66% |
| 10. Tag | 23.0 | 37.0 | 3.1 | 0.26 | 42.05 | 2943 | 99% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.0 | 36.9 | 3.0 | 0.26 | 43.0 | 3009 | 101% |

| Patient | OP | 1. Tag | 2. Tag | 3. Tag | 10. Tag | Kontrolle nach 6 Wochen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C. A. ♀ , 61 J. | 96% | 83% | 69% | 69% | 90% | 101% |
| E. M. ♀ , 73 J. | 46% | 103% | 60% | 52% | 44% | 53 |
| K. B. ♂ , 76 J. | 84% | 72% | 70% | 67% | 75% | 76% |
| A. Sch. ♀, 74 J. | 109% | 48% | 54% | 58% | 47% | 66% |
| M. W. ♀ , 81 J. | 85% | 76% | 77% | 66% | 99% | 101% |
| Mittelwert | 84% | 76% | 66% | 62% | 71% | 79% |
| Standardabweichung | 23 | 20 | 9 | 7 | 25 | 21 |

Ausgangswert = Herzzeitvolumen der Patienten bei Eigenrhythmus am OP-Tag = 100%

Gruppe der K-Patienten
Zusammenfassung der Ergebnisse, Mittelwert, Standardabweichung


% des Ausgangs HZV
Gruppe der K.-Patienten
110
100
90
80
70
60
50
OP
1 T.
2 T.
3 T.
10 Tag
6 Wo.

## Einzelergebnisse

| | | |
|---|---|---|
| L | = | Länge in cm |
| $Z_o$ | = | Grundimpedanz |
| dZ/dt | = | maximaler Ausschlag der Impedanzkurve in cm |
| T | = | Austreibungszeit in sec. |
| SV | = | Schlagvolumen in ml |
| HZV | = | Herzzeitvolumen in ml |
| % d. AW. | = | % des Ausgangswertes |
| Eigen | = | Eigenrhythmus Frequenz/min. |
| Schrittm | = | Schrittmacherrhythmus |

E. F. ♂ , 84 Jahre

UK

Bradyarrhythmie, Ersatzrhythmus aus dem oberen AV-Knoten, Frequenz um 40, Klin. Ins. Grad: II - III;

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 48 | 25.5 | 25.9 | 2.1 | 0.32 | 88.0 | 4221 | |
| Schrittm | 25.5 | 25.4 | 1.9 | 0.25 | 64.1 | 4489 | 106% |
| 1. Tag | 25.5 | 25.0 | 1.9 | 0.24 | 64.0 | 4480 | 106% |
| 2. Tag | 24.0 | 27.5 | 2.2 | 0.26 | 58.8 | 4120 | 98% |
| 3. Tag | 24.0 | 25.4 | 1.8 | 0.26 | 56.4 | 3950 | 94% |
| 10. Tag | 26.0 | 24.3 | 1.7 | 0.26 | 68.4 | 4790 | 113% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 27.5 | 29.6 | 2.5 | 0.24 | 70.0 | 4890 | 116% |

S. S. ♂ , 61 Jahre AV-Block III, Klin. Ins. Grad: III;

UK

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 57 | 22.0 | 23.0 | 2.4 | 0.27 | 80.0 | 4562 | |
| Schrittm | 22.0 | 23.0 | 2.4 | 0.26 | 77.0 | 5396 | 118% |
| 1. Tag | 22.0 | 23.2 | 3.1 | 0.24 | 90.4 | 6330 | 139% |
| 2. Tag | 21.0 | 24.9 | 3.0 | 0.25 | 72.0 | 5040 | 110% |
| 3. Tag | 21.0 | 26.3 | 3.2 | 0.24 | 66.4 | 4650 | 118% |
| 10. Tag | 20.5 | 23.2 | 3.0 | 0.25 | 79.0 | 5530 | 121% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.5 | 25.9 | 2.3 | 0.25 | 63.7 | 4460 | 98% |

H. Sch. ♀ , 74 Jahre AV-Block III, Kammerfrequenz 46/min., Klin. Ins. Grad: II;

UK

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 41 | 22.0 | 16.1 | 0.6 | 0.32 | 48.4 | 1984 | |
| Schrittm | 22.0 | 16.3 | 0.7 | 0.30 | 51.6 | 3100 | 156% |
| 1. Tag | 22.0 | 18.1 | 0.8 | 0.28 | 45.3 | 3174 | 160% |
| 2. Tag | 22.0 | 17.4 | 0.8 | 0.28 | 48.3 | 3384 | 171% |
| 3. Tag | 22.0 | 18.7 | 1.1 | 0.28 | 55.2 | 3868 | 195% |
| 10. Tag | 23.0 | 15.5 | 0.8 | 0.27 | 58.8 | 4112 | 107% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 22.0 | 18.9 | 0.7 | 0.28 | 36.0 | 2519 | 127% |

O. M. ♂ , 75 Jahre

Uk

absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern, rechts- und links-ventrikuläre Erregungsrückbildungsstörung, Klin. Ins. Grad: II - III;

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Op-Tag | | | | | | | |
| Eigen 50 | 23.5 | 19.0 | 1.4 | 0.31 | 89.3 | 4482 | |
| Schrittm | 23.5 | 19.0 | 1.2 | 0.31 | 76.8 | 5378 | 119% |
| 1. Tag | 24.0 | 22.1 | 2.0 | 0.26 | 82.8 | 5795 | 129% |
| 2. Tag | 21.0 | 20.5 | 1.6 | 0.30 | 67.9 | 4756 | 106% |
| 3. Tag | 23.0 | 19.8 | 1.5 | 0.30 | 82.0 | 5740 | 128% |
| 10. Tag | 22.0 | 19.6 | 1.4 | 0.28 | 66.7 | 4670 | 104% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.0 | 20.1 | 1.3 | 0.30 | 68.5 | 4790 | 107% |

A. N. ♀ , 68 Jahre

UK

absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern, mittl. Kammerfrequenz 50, Verdacht auf Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: II - III;

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 60 | 26.0 | 27.0 | 1.3 | 0.25 | 40.7 | 2440 | |
| Schrittm | 26.0 | 26.9 | 1.5 | 0.25 | 47.3 | 3692 | 151% |
| 1. Tag | 26.0 | 26.7 | 2.3 | 0.25 | 73.6 | 5150 | 111% |
| 2. Tag | 26.0 | 26.2 | 2.0 | 0.25 | 68.0 | 4760 | 195% |
| 3. Tag | 26.0 | 30.0 | 2.7 | 0.25 | 53.8 | 3760 | 154% |
| 10. Tag | 25.0 | 29.6 | 2.0 | 0.25 | 48.8 | 3417 | 140% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 25.0 | 28.4 | 1.7 | 0.25 | 44.3 | 3100 | 127% |

G. B. ♀ , 74 Jahre absolute Bradyarrhythmie bei Vorhofflimmern, Kln. Ins. Grad: III

UK

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 50 | 23.0 | 29.4 | 2.3 | 0.33 | 62.70 | 3140 | |
| Schrittm | 23.0 | 29.3 | 2.0 | 0.32 | 54.27 | 3799 | 121% |
| 1. Tag | 23.0 | 29.8 | 2.3 | 0.31 | 57.30 | 4010 | 127% |
| 2. Tag | 23.0 | 31.0 | 3.3 | 0.32 | 78.50 | 5490 | 175% |
| 3. Tag | 23.0 | 33.1 | 4.0 | 0.32 | 83.40 | 5838 | 186% |
| 10. Tag | 24.5 | 31.1 | 2.2 | 0.32 | 58.90 | 4130 | 131% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 25.0 | 32.4 | 1.7 | 0.34 | 48.00 | 3347 | 107% |

M. P. ♀ , 63 Jahre absolute Arrhythmie bei Vorhofflimmern; Adams-Stokes Anfälle, Klin. Ins. Grad: II;

UK

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 68 | 21.0 | 23.8 | 1.5 | 0.32 | 50.50 | 3437 | |
| Schrittm | 21.0 | 22.9 | 1.5 | 0.32 | 54.40 | 3810 | 117% |
| 1. Tag | 21.0 | 23.7 | 2.0 | 0.32 | 67.40 | 4717 | 137% |
| 2. Tag | 21.0 | 23.3 | 1.9 | 0.32 | 66.40 | 4654 | 132% |
| 3. Tag | 21.0 | 23.3 | 1.9 | 0.32 | 65.10 | 4557 | 133% |
| 10. Tag | 22.5 | 30.9 | 2.8 | 0.30 | 60.10 | 4207 | 122% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 25.0 | 34.9 | 2.7 | 0.32 | 59.80 | 4190 | 120% |

J. N. ♂, 70 Jahre — Hinterwandinfarkt, AV-Block III, Klin. Ins., Grad: III.

UK

| | L | $Z_o$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 58 | 22.0 | 23.4 | 1.6 | 0.32 | 61.1 | 3540 | |
| Schrittm | 22.0 | 23.0 | 1.7 | 0.30 | 63.0 | 4410 | 124% |
| 1. Tag | 22.0 | 24.8 | 1.6 | 0.32 | 54.4 | 3810 | 107% |
| 2. Tag | 22.0 | 22.8 | 1.6 | 0.32 | 64.5 | 4512 | 127% |
| 3. Tag | 22.0 | 23.0 | 1.7 | 0.31 | 64.0 | 4480 | 128% |
| 10. Tag | 25.0 | 30.6 | 2.0 | 0.30 | 54.7 | 3799 | 107% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 23.0 | 21.7 | 1.5 | 0.32 | 72.0 | 5080 | 143% |

E. G. ♀, 87 Jahre — Zustand nach Infarkt, AV-Block, Klin. Ins. Grad: II;

UK

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 52 | 22.0 | 33.3 | 2.2 | 0.34 | 44.1 | 2290 | |
| Schrittm | 22.0 | 31.5 | 2.0 | 0.31 | 40.8 | 2860 | 125% |
| 1. Tag | 21.0 | 28.0 | 2.0 | 0.32 | 48.6 | 3400 | 148% |
| 2. Tag | 21.0 | 27.5 | 1.9 | 0.32 | 47.6 | 3330 | 145% |
| 3. Tag | 22.0 | 33.0 | 2.0 | 0.32 | 38.4 | 2688 | 117% |
| 10. Tag | 22.0 | 34.8 | 2.2 | 0.31 | 36.8 | 2580 | 112% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 22.5 | 33.1 | 2.0 | 0.26 | 35.1 | 2460 | 107% |

A. J. ♂ , 77 Jahre absolute Bradyarrhythmie, Ersatzrhythmus um 35, Klin. Ins. Grad: II;

UK

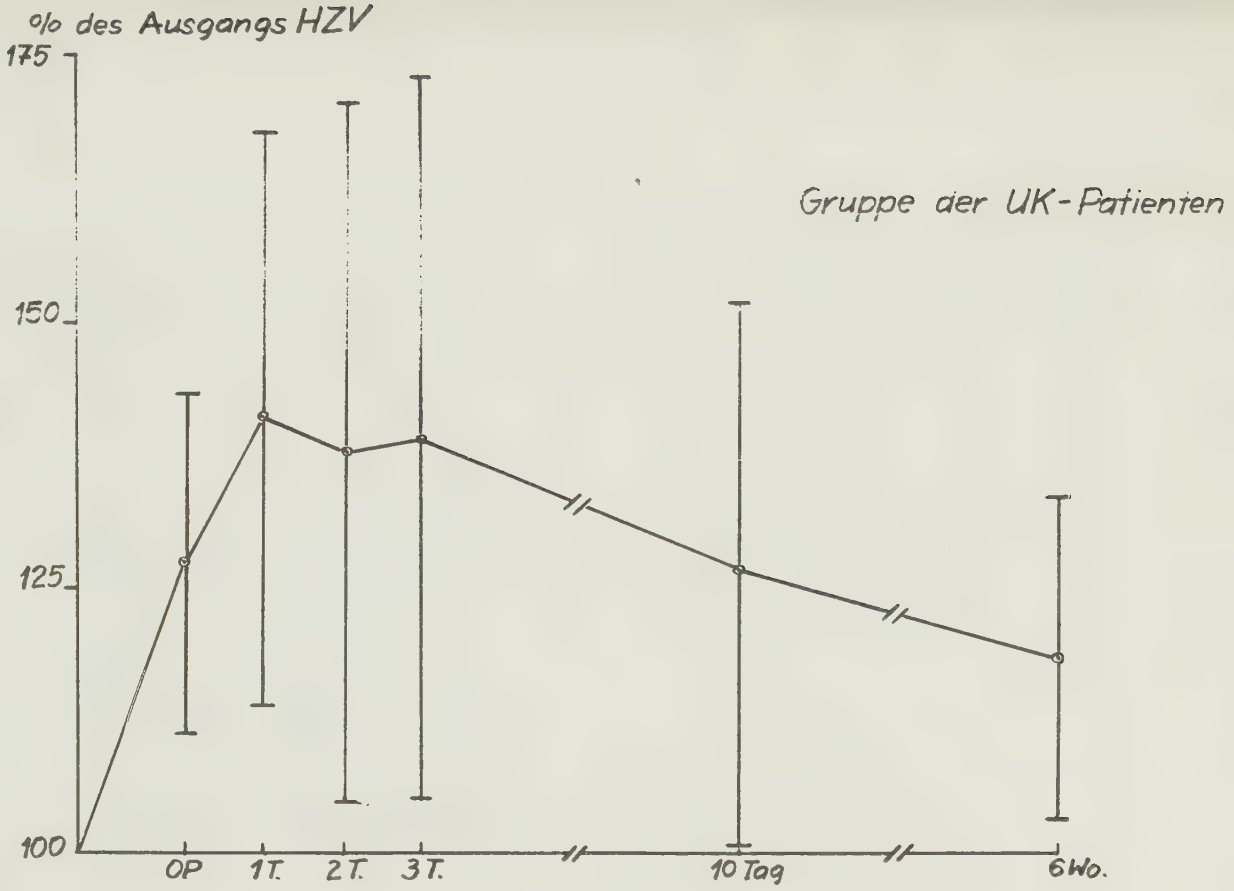
| | L | $Z_0$ | dZ/dt | T | SV | HZV | % d. AW |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OP-Tag | | | | | | | |
| Eigen 36 | 23.5 | 22.1 | 1.3 | 0.38 | 75.4 | 2710 | |
| Schrittm | 23.5 | 24.2 | 1.4 | 0.30 | 55.3 | 3870 | 133% |
| 1. Tag | 22.0 | 21.1 | 1.4 | 0.28 | 57.5 | 4030 | 148% |
| 2. Tag | 22.0 | 22.6 | 1.3 | 0.28 | 46.6 | 3270 | 120% |
| 3. Tag | 23.5 | 22.3 | 1.4 | 0.27 | 56.7 | 3970 | 146% |
| 10. Tag | 24.0 | 23.9 | 1.1 | 0.30 | 45.0 | 3150 | 116% |
| Kontrolle nach 6 Wochen | 25.5 | 25.4 | 1.3 | 0.30 | 53.1 | 3720 | 137% |

| Patient | OP | 1. Tag | 2. Tag | 3. Tag | 10. Tag | Kontrolle nach 6 Wochen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A. J. ♂ , 77 J. | 133% | 148% | 120% | 146% | 116% | 137% |
| E. G. ♀ , 87 J. | 125% | 148% | 145% | 117% | 112% | 107% |
| J. N. ♂ , 70 J. | 124% | 107% | 127% | 128% | 107% | 143% |
| M. P. ♀ , 63 J. | 117% | 137% | 132% | 133% | 122% | 120% |
| G. B. ♀ , 74 J. | 121% | 127% | 175% | 186% | 131% | 107% |
| A. N. ♀ , 68 J. | 151% | 211% | 195% | 154% | 140% | 127% |
| O. M. ♂ , 75 J. | 119% | 129% | 106% | 128% | 104% | 107% |
| H. Sch. ♂, 74 J. | 156% | 160% | 171% | 195% | 207% | 127% |
| S. S. ♂ , 61 J. | 118% | 139% | 110% | 102% | 121% | 98% |
| E. F. ♂ , 84 J. | 106% | 106% | 98% | 94% | 113% | 116% |
| Mittelwert | 127% | 141% | 138% | 139% | 127% | 119% |
| Standardabweichung | 16 | 27 | 32 | 34 | 30 | 15 |

Ausgangswert = Herzzeitvolumen der Patienten bei Eigenrhythmus am OP-Tag = 100%

Gruppe der UK-Patienten

Zusammenfassung der Ergebnisse, Mittelwert, Standardabweichung




Kurve der Mittelwerte

| T-Test | Gruppe UK | Gruppe K |
|---|---|---|
| Eigen/OP | $p < 0{,}001$ | $p < 0{,}025$ |
| Eigen/1. Tag | $p < 0{,}001$ | n. s. |
| Eigen/2. Tag | $p < 0{,}001$ | $p < 0{,}0025$ |
| Eigen/3. Tag | $p < 0{,}0025$ | $p < 0{,}001$ |
| Eigen/10. Tag | $p < 0{,}001$ | $p < 0{,}05$ |
| Eigen/6 Wochen | $p < 0{,}0025$ | $p < 0{,}05$ |
| OP/1. Tag | $p < 0{,}025$ | n. s. |
| OP/2. Tag | n. s. | n. s. |
| OP/3. Tag | n. s. | $p < 0{,}05$ |
| OP/10. Tag | n. s. | n. s. |
| OP/6 Wochen | n. s. | n. s. |
| 1. Tag/2. Tag | n. s. | n. s. |
| 1. Tag/3. Tag | n. s. | n. s. |
| 1. Tag/10. Tag | $p < 0{,}05$ | n. s. |
| 1. Tag/6 Wochen | $p < 0{,}05$ | n. s. |
| 2. Tag/3. Tag | n. s. | $p < 0{,}05$ |
| 2. Tag/10. Tag | n. s. | n. s. |
| 2. Tag/6 Wochen | n. s. | $p < 0{,}05$ |
| 3. Tag/10. Tag | n. s. | n. s. |
| 3. Tag/6 Wochen | $p < 0{,}05$ | $p < 0{,}025$ |
| 10. Tag/6 Wochen | n. s. | $p < 0{,}05$ |

# V. DISKUSSION

## 1. Kritik der Methode

Die vorliegende Arbeit untersucht Veränderungen des Herzzeitvolumens vor und nach Schrittmacherimplantation und über einen Zeitraum von 6 Wochen mit einer nicht invasiven, von Kubicek zur Messung des Herzzeitvolumens an Astronauten im All, entwickelten Methode. Die Formel, nach der dabei die Berechnung des Schlagvolumens erfolgt, lautet (nach Kubicek):

$$SV = \varrho \times \frac{L^2}{Z_o^2} \times dZ/dt \times T$$

In einer von Geddes und Baker 1967 (21) erstellten Tabelle für verschiedene spezifische Widerstände der verschiedenen Gewebe und Flüssigkeitsanteile des menschlichen und tierischen Körpers wird der Wert des menschlichen Blutes mit p = 150 Ohm x sec. (bei 37,5°C 41% Hkt und 100 kHz) angegeben. Diesen Wert benutzen auch Kubicek und andere Autoren.

Bei unseren Berechnungen benutzen wir als Konstante 135 Ohm, einen Wert, den Pomerantz (45) angibt und den auch der Gerätehersteller empfiehlt. Änderungen des Hämatokrits sind in ihrem Einfluß auf $\varrho$ zu vernachlässigen, wie Luepker (35) nachweisen konnte; ausgenommen sind Extremfälle, z. B. schwere Anämien oder Polyglobulien.

Da die Länge L (= kürzester Abstand zwischen den Elektroden 2 und 3, über dem Sternum gemessen) im Quadrat in den Nenner der Formel eingeht, bedeutet eine kleine Verschiebung dieses Wertes eine deutliche Beeinflussung des Ergebnisses. Bei unserem Meßzeitplan - Kontrollen über sechs Wochen - war es nicht möglich, die Meßelektroden liegen zu lassen. Obwohl wir durch genaues Anzeichnen der Elektrodenlage nach dem ersten Anlegen der Bänder versuchten, deutliche Markierungspunkte für das Anlegen der Meßelektroden am nächsten Untersuchungstermin zu haben, kann es hier zu leichten Verschiebungen der Elektrodenbandanordnung gekommen sein.
Überhaupt ist die Elektrodenplazierung nicht verläßlich standardisierbar. Die dritte Elektrode wird auf der Höhe des Xyphoids angelegt, also an einem Ort, der in Bezug auf die Aorta anatomisch variabel ist. Bei Frauen ist ein Verschieben der Elektroden 3 und 4 nach cranial wegen des Unterrandes der Mammae nicht möglich.
Luepker (35) erörtert,inwieweit bei dieser Elektrodenanordnung das obere Abdomen einen störenden Einfluß auf die transthorakale Impedanz hat.
Durch Atemexkursionen zeigten die Kurvenbilder der ersten Ableitung dZ/dt oft erhebliche Verformungen. Um ein null-linienstabiles Kurvenbild zu erhalten, ließen wir die Patienten im Zustand der Exspiration einen Zeitraum von 5 bis 10 Herzaktionen den Atem anhalten. Durch diesen temporären Apnoe entfiel die Funktion der Atmung bzgl. des venösen Blutrückstroms zum Herzen (20). Damit muß mit einer Verminderung des Herzzeitvolumens während der Messung gerechnet werden.

Mehrere Autoren verglichen die Impedanzkardiographie mit Standardmethoden zur Herzzeitvolumen-Bestimmung wie Farbstoffverdünnungsmethode, Thermodilution, Isotopenverdünnung, Ficksches Prinzip.
Baker (6) publizierte 1971 beim Vergleich Impedanzkardiographie / Farbstoffverdünnungsmethode bei 10 Patienten einen Korrelationskoeffizienten von 0,68.
Judy (28) (1969 2) gibt für einen Vergleich mit der Isotopenverdünnungsmethode bei 17 Patienten einen Korrelationskoeffizienten von 0,58 an.
Kinnen (1970) (29) veröffentlichte bei einem Vergleich Impedanzkardiographie / Farbstoffverdünnung bei einer Studie mit 67 Patienten einen hohen Korrelationskoeffizienten von 0,84.
Bigr und Mit. (12, 41), die 1975 Herzzeitvolumenmessungen mit Hilfe der Impedanzkardiographie mit den Methoden Thermodilution und direktes Ficksches Prinzip verglichen, geben einen Korrelationskoeffizienten von 0,63 für den Vergleich von Fickschem Prinzip / Impedanzkardiographie und von 0,68 für den Vergleich Thermodilution / Impedanzkardiographie an. (n = 56 Patienten). Daraus folgern sie, daß in den Fällen, wo es auf eine zuverlässige Bestimmung des Absolutwertes des Herzzeitvolumens ankommt, die Impedanzkardiographie nur einen approximativen Wert liefern kann, während sie in denjenigen Situationen wertvolle Informationen liefert, wo es weniger auf die Kenntnis des Absolutwertes als auf relative Änderungen in Bezug auf den Ausgangswert ankommt.

## 2. Diskussion der Ergebnisse

Da es bei dieser Arbeit über Herzzeitvolumen-Veränderungen nach Schrittmacherimplantation nicht um die einzelnen Absolutwerte, sondern um relative Änderungen des Herzzeitvolumens nach Schrittmacherimplantation in Bezug auf das Herzzeitvolumen des Patienten vor der Schrittmacherimplantation geht, erschien uns die Impedanzkardiographie für diese Problemstellung geeignet.

Um diese Problematik auch bei der Auswertung der Ergebnisse zu berücksichtigen, werden Herzzeitvolumen-Veränderungen bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse nicht als absolute Werte angegeben, sondern als Vielfaches des Ausgangsherzzeitvolumens.

Bei unserer Untersuchung über Veränderungen des Herzzeitvolumens vor und nach Schrittmacherimplantation und über einen Zeitraum von sechs Wochen zeigten die untersuchten Patienten konträres Verhalten. Während bei den Patienten mit präoperativ unkoordinierter Vorhof-Kammer Aktion (AV-Block, Vorhofflimmern, absolute Arrhythmie) das Herzzeitvolumen in den ersten postoperativen Tagen um durchschnittlich 41% zunahm, fiel das Herzzeitvolumen der Patienten mit präoperativ koordinierter Vorhof-Kammer Aktion (Sinusbradycardie) um durchschnittlich 38%.

Die Hämodynamik wird bei Stimulation im rechten Ventrikel und erhaltener Vorhofkontraktion von zwei Mechanismen bestimmt. Einerseits führt die geänderte Erregungsausbreitung zu einer Depolarisation des linken Ventrikels auf Umwegen, ähnlich

wie bei Linksschenkelblock, andererseits bedingt der variable Abstand der Vorhofaktion vom darauffolgenden Kammerkomplex einen unterschiedlichen Beitrag des Vorhofs zur Größe des Schlagvolumens der entsprechenden Kammersystole.
Da Austreibungszeit und Schlagvolumen eng korrelieren, kann man über eine Änderung der Austreibungszeit auf eine Änderung des Schlagvolumens schließen.

Aigner und Mit. (2) untersuchten 1975 den Einfluß der Vorhofkontraktion auf systolische Kreislaufzeiten bei Patienten (n = 13; 10 Patienten mit totalem Block, 3 Patienten mit Sinusbradycardie) mit Schrittmacherstimulation. Sie fanden, daß während der Sinusrhythmus die Austreibungszeit bei den Patienten, bezogen auf die Herzfrequenz, verlängert, bei Schrittmacherstimulation verkürzt war. Der zyklusgerechte Einfall der Vorhofkontraktion bewirkte Steigerungsraten des Schlagvolumens um 25%. Dies läßt sich hämodynamisch folgendermaßen erklären: Die zyklusgerechte Vorhofaktion bewirkt eine Zunahme des enddiastolischen Ventrikelvolumens. Das Schlagvolumen der dazugehörigen Systole steigt durch die vermehrte diastolische Faserdehnung, solange das Herz im aufsteigenden Teil der Starlingschen Kurve arbeitet. Bei dilatierten Herzen ist dieser Effekt gering, da das Herz im flachen Teil der Frank-Starling Kurve arbeitet.

Trifft aber die Vorhofaktion auf eine geschlossene AV-Klappe oder auf einen maximal gedehnten Ventrikel, so fehlt ihre Wirkung auf das Schlagvolumen. Bei gleichzeitiger Kontraktion von Vorhof und Kammer wird der Ansaugmechanismus des Venensystems getört. Es

kann eine Vorhofpfropfungswelle entstehen, die hämodynamisch eine starke Abnahme des Schlagvolumens bewirken und dadurch zu schwerer Herzinsuffizienz führen kann.
Gattenlöhner und Mit. (19) untersuchten 1973 bei 30 Patienten mit bradycarden Rhythmusstörungen mittels Farbverdünnungsmethode die Hämodynamik bei Schrittmachertherapie.
19 Patienten hatten einen partiellen oder totalen AV-Block, bei 11 Patienten bestand Sinusbradycardie bzw. intermittierend auftretender SA-Block, d. h. bei einem Teil der Patienten war das AV-Überleitungssystem teilweise oder total geschädigt, während bei den übrigen Patienten die Störung in der Potentialbildung des Sinusknotens bei erhaltener AV-Überleitung, lag.
Dabei steigerte sich das Herzzeitvolumen der Patienten mit totalem AV-Block ohne retrograde Vorhoferregung bis zu 70%, während es bei Patienten mit Sinusbradycardie bei ventrikulärer Stimulation teilweise zu Abfall des Herzzeitvolumens um 30% kam.
Versuche Gattenlöhners, bei Patienten mit erhaltener AV-Überleitung vorhofstimulierende und bifocal stimulierende Schrittmacher zu verwenden, brachten für die Patienten eine Besserung ihres Herzzeitvolumens bis zu 30%. Gattenlöhner vertritt deshalb die Ansicht, man sollte bei Patienten mit intakter AV-Überleitung nur noch vorhofstimulierende und bifokalstimulierende Schrittmacher verwenden, um den Effekt der Vorhofkontraktion für das Schlagvolumen zu erhalten und die hämodynamisch negative retrograde Vorhoferregung zu verhindern.
Bei Patienten mit totalem Herzblock fand er keinen Unterschied zwischen Vorhof- und bifokaler Stimulation einerseits und Ventrikelstimulation andererseits.

Die von uns festgestellte hämodynamische Verbesserung bei Patienten mit totalem AV-Block wird nicht nur von Gattenlöhner, sondern von vielen anderen Autoren bestätigt.
Büchner (14), Benchimol (7, 8, 9, 10), Solti (49), Chardack (16), Mc. Gregor (38), Marshall (36), Nathan (40) stellen eine mehr oder weniger große Steigerung des Herzzeitvolumens und des Herzindex bei Patienten mit meist totalem Herzblock gegenüber deren präoperativen Ausgangswert fest.
Sowton (50) beschreibt zwei Kurven für das Verhalten des Herzzeitvolumens im Akutversuch in Abhängigkeit von der Herzfrequenz: (n = 28 Patienten) "Flat" ist die Kurve, wenn sich über einen weiten Bereich ($\Delta$ Herzfrequenz 30 Schläge) das Herzzeitvolumen nicht mehr als 15% ändert. Bei 50% seiner Patienten findet Sowton diesen Kurvenverlauf. Er korreliert signifikant mit dem Fehlen von einer Herzinsuffizienz bei diesen Patienten. "Peaked" ist die Kurve dann, wenn das Herzzeitvolumen abhängig von der Herzfrequenz ist, d. h. wenn eine Änderung der Herzfrequenz um 10 Schläge eine Änderung des Herzzeitvolumens über 20% bewirkt. Diese "peaked" Kurven findet Sowton korrelierend mit Patienten mit Herzinsuffizienz. Sowton findet bei optimaler Wahl der Frequenz eine positive Besserung des Herzzeitvolumens bei Patienten mit komplettem Herzblock: Von 35 untersuchten Patienten steigerten 28 Patienten ihr Herzzeitvolumen nach Schrittmacherimplantation von 2,9l/min. auf 4,4l/min. Eher skeptisch einer langzeitigen Verbesserung der hämodynamischen Situation nach Schrittmacherimplantation gegenüber zeigen sich Adolph (1) und Nager (39).
Adolph und Mit. (1) untersuchten 1968 die Hämodynamik von Patienten (n = 17), denen wegen kompletten Herz-

blocks und Adams-Stokes Symptomatik ein permanenter Schrittmacher implantiert wurde. Das Herzzeitvolumen wurde mit Indikatordilutionsmethode gemessen.
Dabei stellten Adolph und Mit. (1) aktuell eine deutliche Steigerung des Herzzeitvolumens bei allen Patienten fest. Bei einem Kontrolltermin nach 34 Wochen war jedoch das Herzzeitvolumen bei nur drei Patienten leicht gesteigert, bei drei Patienten unter dem Ausgangswert; die übrigen Patienten waren zu ihrem Ausgangs-Herzzeitvolumen zurückgekehrt.
Adolph versucht dieses, wie er sagt "paradoxe Ergebnis", so zu erklären: Normalerweise kann der untrainierte Mensch sein Herzzeitvolumen im akuten Bedarfsfall über eine Steigerung der Herzfrequenz vergrößern. Genau das passiert auch mit dem Patienten, dem ein Schrittmacher eingebaut wird. Akut steigert sich sein Herzzeitvolumen, auf Dauer aber kehrt das Herzzeitvolumen zum Ausgangswert zurück.
Ein zweiter von Adolph angeführter Erklärungsmechanismus ist ein Effekt, den Bowditch (13) 1871 das erste Mal beschrieb: Bei einer akuten Steigerung der Herzfrequenz kommt es treppenweise zu einer Steigerung der Kontraktilität des Herzens. Sarnoff und Mitchell haben den Bowditch-Effekt benutzt, um die Steigerung der Kontraktilität des Herzens, die nach Extrasystolen und elektrischer Reizung des Herzmuskels festgestellt wurde, zu erklären.
Da angenommen wird, daß der Bowditch-Effekt eine Reaktion des Herzmuskels auf eine akute Herzfrequenzänderung ist, ist es erklärlich, daß dieser Effekt bei chronischer Schrittmachertherapie verschwindet, und so der Patient trotz Herzfrequenzerhöhung zu seinem Ausgangsherzzeitvolumen zurückkehrt.
Adolph (1) zieht aus seiner Untersuchung den Schluß, daß für eine langdauernde Schrittmachertherapie bei Patienten mit komplettem Herzblock eine Adams-Stokes

Symptomatik vorliegen sollte.
Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Nager und Mit. (39), die 1966 hämodynamische Befunde bei Patienten mit implantierten elektrischen Schrittmachern veröffentlichten. Sie beobachteten im Akutversuch bei künstlicher Stimulierung des Herzens eine nur geringe Abnahme des Schlagvolumens und deshalb eine deutliche Steigerung des Herzzeitvolumens;nach mehrwöchiger Adaptionsphase an die Frequenzsteigerung verkleinerte sich das Schlagvolumen, und das Herzzeitvolumen kehrte zum Ausgangswert vor der Schrittmacherimplantation zurück. Als Fazit beschreibt Nager (39): " Im Gegensatz zu der oft lebensrettenden Bedeutung elektrischer Herzstimulation zur Verhütung Adams-Stokes'scher Anfälle sind die hämodynamischen Ergebnisse sowohl für das Ruhe-Herzzeitvolumen als auch für die Anpassungsfähigkeit an Arbeit eher bescheiden."
Wenn wir auch diese Aussage aufgrund unserer Meßdaten bei Patienten mit komplettem Herzblock nicht bestätigen können, so ist es doch auffallend, daß auch wir im Laufe der sechs-wöchigen Untersuchungszeit eine deutliche Tendenz des Herzzeitvolumens, sich seinem Ausgangswert anzunähern, feststellten. Dies gilt sowohl für die Patienten mit komplettem Herzblock, die postoperativ ihr Herzzeitvolumen deutlich verbesserten (durchschnittlich 40% in den ersten drei Tagen) - sie liegen bei der Kontrolle nach sechs Wochen nach Schrittmacherimplantation nur 19% über ihrem Herzzeitvolumen vor der Operation - als auch für die Patienten mit Sinusbradycardie, die postoperativ deutlich in ihrem Herzzeitvolumen abfielen (durchschnittlich 34%) - sie liegen bei der Kontrolle nach sechs Wochen nur noch 21% unter ihrem Ausgangs-Herzzeitvolumen!

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit und aufgrund der hier diskutierten Veröffentlichungen anderer Autoren zu diesem Thema läßt sich zusammenfassend sagen, daß der therapeutische Effekt einer Schrittmacherimplantation bei Patienten mit Sinusbradycardie ohne Adams-Stokes Symptomatik fraglich ist.
Dagegen kann man bei Patienten mit Ersatzrhythmus nach Schrittmacherimplantation eine Verbesserung der Hämodynamik erwarten.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

1. Diese Arbeit untersucht die Veränderungen des Herzzeitvolumens durch Implantation eines Schrittmachers bei Patienten mit Sinusbradycardie (n= 5) und Patienten mit absoluter Arrhythmie mit Vorhofflimmern und AV-Block II - III (n= 10).

2. Zur Bestimmung des Herzzeitvolumens wurde die Impedanzkardiographie, eine unblutige, nichtinvasive Methode zur Bestimmung des Herzzeitvolumens, gewählt.

3. Die Patienten mit präoperativ unkoordinierter Vorhof-Kammer Aktion (absolute Arrhythmie mit Vorhofflimmern, AV-Block II - III), abgekürzt UK-Patienten, zeigten ein konträres Verhalten im Vergleich mit den Patienten, die präoperativ über eine koordinierte Vorhof-Kammer Aktion verfügten (Sinusbradycardie), abgekürzt K-Patienten.

4. Die UK-Patienten verbesserten ihr Herzzeitvolumen nach Schrittmacherimplantation auf (Mittelwerte) 127% am Operationstag, 141% am zweiten, 139% am dritten, 127% am zehnten postoperativen Tag. Nach sechs Wochen betrug ihr Herzzeitvolumen 119% des Ausgangswertes bei Eigenrhythmus.

5. Die K-Patienten verschlechterten das Herzzeitvolumen nach Schrittmacherimplantation auf (Mittelwerte) 84% am Operationstag, 76% am ersten, 66% am zweiten, 62.% am dritten und 71% am zehnten postoperativen Tag. Nach sechs Wochen betrug das Herzzeitvolumen 79% des Ausgangswertes.

## VII. LITERATUR

1. Adolph, R. J., Holmes, J. C., Fukusumi, H.:

Haemodynamic Studies In Patients With Chronically Implanted Pacemakers.

American Heart Journal, (Dec. 1968) Vol. 76, No. 6 829 - 838.

2. Aigner, A., Gmeiner, R., Knapp, E., Raas, E.:

Der Einfluß von Vorhofkontraktionen auf systolische Kreislaufzeiten bei Patienten mit Schrittmacherstimulation.

Herz/Kreisl. 7 No. 1 49 - 51 (1975).

3. Allison, R. D.:

The Potential Role Of Impedance Plethysmography In Aerospace Medicine. Final Progress Report.

NASA Contract 9 - 4500 (1970) Cr 101965 422.

4. D'Arsonval, A.:

Influence De La Fréquence Sur Les Effects Physiologique De Courants Alternatifs.

Comptes Redus (1893) 630.

5. Atzler, E., Lehmann, G.:

Über ein neues Verfahren zur Darstellung der Herztätigkeit (Dielektrographie).

Arbeitspsychologie 6 (1932) 635.

6. Baker, L. E., Judy, W. V., Geddes, L. A., Langley, F. M., Hill, D. W. :

The Measurement Of Cardiac Output By Means Of Electrical Impedance. Cardiovascular Research. Center Bulletin Vol. IX, 4 (1971) 135.

7. Benchimol, A., Ellis, J., Dimond, E. :

Haemodynamic Consequences Of Atrial And Ventricular Pacing In Patients With Normal And Abnormal Hearts. Amer. J. Med. 39 / 911 (1965).

8. Benchimol, A., Li, Y. et al. :

Cardiovascular Dynamics In Complete Heart Block At Various Heart Rates. Circulation 39 (1969) 40, 44.

9. Benchimol, A., Tippit, H. C., Maia, J. G. :

Artificial Pacemakers:
The Rationale And Results Of Their Use. Malattic Cardiovascolari, 8 : 555 (1967).

10. Benchimol, A., Li, Y - B., Dimond, E. G., Voth, R. B., Roland, A. S. :

Effect Of Heart Rate, Exercise, And Nitroglycerin On The Cardiac Dynamics In Complete Heart Block. Circulation, 28 : 510 (1963).

11. B e n c h i m o l , A. :

Cardiac Functions During Electrical Stimulation Of The Heart.

Amer. J. Cardiology 17 : 27 (1966).

12. B i e r , P. :

Herzzeitvolumenmessungen mit Hilfe der Impedanzkardiographie.
Vergleichende Untersuchungen mit dem direkten Fickschen Prinzip und Thermodilution.

Dissertation München (1975).

13. B o w d i t c h , H. P. :

Über die Eigentümlichkeiten der Reizbarkeit, welche die Muskelfasern des Herzens zeigen.

Beitr. d. K. Sächs. Ges. d. Wissenschaft 23 652 (1871).

14. B ü c h n e r , Ch. , G e b h a r d t , W. , O v e r b e c k , W. , A m a t y , L. , F. , R e i n d e l l , H. :

Befunde hämodynamischer Untersuchungen vor und nach Implantation eines elektrischen Schrittmachers.

Thoraxchirurgie, 13, 5 : 368 (1965).

15. B ü c h n e r , Ch. , D r ä g e r t , W. et al. :

Schrittmachertherapie des Herzens.

Forum Cardiologicum 14,
Studienreihe Boehringer, Mannheim (1973).

16. Chardack, W. M., Gage, A. A., Greatbatch, W. :

A Transistored, Selfcontained, Implantable Pacemaker For The Long Term Correction Of Complete Heart Block.

Surgery, 48 : 643 (1960).

17. Chardack, W. M., Gage, A. A., Schimeot, A., Thomson, G. et al :

Two Years' Clinical Experience With The Implantable Pacemaker For Complete Heart Block.

Dis. Chest. 43 / 225 (1963).

18. Documenta Geigy

Wissenschaftliche Tabellen.

6. Aufl. Basel (1962).

19. Gattenlöhner, W., Schneider, K. W. :

Schrittmachertherapie und Hämodynamik.

Münch. med. Wschr. 115 No. 47 (1973)

20. Gauer, O. H. :

"Kreislauf des Blutes" in:
Trautwein W., Gauer, O. H., Koepchen, M. P.:
Herz und Kreislauf

Verlag Urban und Schwarzenberg,
München-Berlin-West (1972).

21. Geddes, L. A., Baker, L. E.:

Principles Of Applied Biomedical Instrumentation.

John Wiley and Sons, New York, N. Y. (1968) 150 - 205.

22. Grollmann, A.:

The Cardiac Output In Health And Disease.

Springfield Illinois: Charles C. Thomas (Publ.) (1932).

23. Guyton, A. C., Jones, C. E., Coleman, T. G.:

Circulatory Physiology: Cardiac Output And Its Regulation.
W. B. Sounders Comp. (1974) Philadelphia, P. A.

24. Harley, A., Greenfield, J. C.:

Determination Of Cardiac In Man By Means Of Impedance Plethysmography.

Aerospace Med. 39 (1968) 248.

25. Hoffer, E. C., Meador, C. K., Simpson, D. C.:

A Relationship Between Whole Body Impedance And Total Body Water Volume.

Ann. N. Y. Acad. Sci. 170 (1970) 452.

26. Hullard-Pulstinger, D.:

Hämodynamik vor und nach Schrittmacherimplantation.

Dissertation Erlangen (1971).

27. Judge, R. D., Wilson, W. S., Siegel, J. H. :

Haemodynamic Studies In Patients With Implanted Pacemakers.

New Engl. J. Med. 270, 1391 (1964).

28. Judy, W. V., Langley, F. M., Mc Cowen, K. D., Stinnett, D. M., Baker, L. E., Johnson, P. C. :

Comparative Evaluation Of The Thoracic Impedance And Isotope Dilution Methods For Measuring Cardiac Output.

Aerospace Med. 40 (1969) 532.

29. Kinnen, E. :

Cardiac Output From Transthoracic Impedance Variations, Review Of Experience With Heart Patients. Final Progress Report.

NASA Contract 9 - 4500 (1970)
CR 101965, 385.

30. Kubicek, W. G., Witsoe, D. A., Patterson, R. P., Mosharrafa, M. A., Karnegis, J. N. Prom, A. H. L. :

Development And Evaluation Of An Impedance Cardiographic System To Measure Cardiac Output.

NASA Report-Contract No. NAS 9 - 4500 (1967)
CR 92220.

31. Kubicek, W. G., Patterson, R. P. Witsoe, D. A.:

Impedance Cardiography As A Noninvasive Method Of Monitoring Cardiac Function And Other Parameters Of The Cardiovascular System.

Ann. N. Y. Acad. Sci. 170 (1970) 724.

32. Kubicek, W. G., From, A. H. L., Patterson, R. P., Witsoe, D. A., Lillehei, R. C., Ersek, R.:

Impedance Cardiography As A Noninvasive Mean To Monitor Cardiac Function.

J. Assoc. Advanc. Med. Instrum. 4 (1970) 79.

33. Kubicek, W. G., Witsoe, D. A., Patterson, R. P., From, A. H. L.:

Development And Evaluation Of An Impedance Cardiographic System To Measure Cardiac Output And Other Cardiac Parameters.

Final Report-NASA Contract 9-4500 (1970) 651.

34. Lababidi, Z., Ehmke, D. A., Durin, R. E., Leaverton, P. E., Lauer, R. M.:

The First Derivative Thoracic Impedance Cardiogram.

Circulation 41 (1970) 651.

35. Luepker, R. V., Michael, J. R., Warbasse, J. R.:

Transthoracic Electrical Impedance: Quantitative Evaluation Of A Noninvasive Measure Of Thoracic Fluid Volume.

Americ. Heart J. 85 (1973) 83.

36. Marshall, R. J. :

Haemodynamic Effects Of Endocardial Pacemaking In Patients With Complete Heart Block.

J. Clin. Invest., 43 : 1304 (1964).

37. Martin, W. E. :

Impedance Stroke Volume, A Comparison In Dogs And Man With electromagnetic Flowmeters And Dye Dilution Respectively.
Final Progress Report.

NASA Contract 9 - 4500 (1970) CR 101965, 357.

38. Mc Gregor, M., Klassen, R. N. et al :

Observations On The Effect Of Heartrate On Cardiac Output In Patients With Complete Heart-block At Rest And During Exercise.

Circul. Res. 14/15 Supplement II 215 (1964).

39. Nager, F., Bühlmann, A., Schaub, F., Schmid, J. R. :

Hämodynamische Befunde bei Patienten mit implantiertem elektrischem Schrittmacher.

Cardiologia 48 / 412 - 415 (1966).

40. Nathan, D., Samet, P., Center, S., Wu, C - Y. :

Long-Term Correction Of Complete Heart Block.

Progr. Cardiovasc. Dis., 6 : 538 (1964).

41. Nechwatal, W., Bier, P., Eversmann, A., König, E.:

Die unblutige Bestimmung des Herzzeitvolumens mit der Impedanzkardiographie, Vergleichende Untersuchungen mit der Thermodilutionsmethode.

Basic Res. Cardial. 71 542 - 552 (1976).

42. Nyboer, J.:

Electrical Impedance Plethysmography.
In: Glasser, O.: Medical Physics, Vol 1, Chicago, Year Book Publishers (1944) 744.

43. Nyboer, J.:

Electrical Impedance Plethysmography.

Springfield, I 11, Charles C. Thomas (1959) 243.

44. Olsson, B., Pool, J., Vandermoten, P., Varnauskas, E., Wasson, R.:

Validity And Reproducibility Of Determination Of Cardiac Output.

Cardiology (1970) 136.

45. Pomerantz, M., Delgado, F., Eiseman, B.:

Clinical Evaluation Of Transthoracic Electrical Impedance As A Guide To Intrathoracic Fluid Volumes.

Ann. Surg. 171 (1970) 686.

46. Rapaport, E., Ketterer, S. G.:

The Measurement Of Cardiac Output By The Thermodilution Method.

Clin. Res. 6 (1958) 214.

47. R o s k a m m , H. :

Hämodynamik und Kontraktilität des gesunden und kranken Herzens bei körperlicher Belastung.

Verh. dtsch. Ges. Kreisl. Forsch. 37 (1971) 42 (Bad Nauheim).

48. R o s k a m m , H. :

Funktionsprüfung von Herz und Kreislauf.

Kurzmonographie Sandoz 2 (1971) (Nürnberg).

49. S o l t i , F. , I s k u m , M. , S z a b o , Z. , N a g y , J. , R u s z a , P. :

Kreislaufuntersuchungen beim Vorhofkammerblock vor und nach Pacemaker Implantation.

Z. Kreisl. Forsch. 55 / 731 (1966).

50. S o w t o n , E. :

Haemodynamic Studies In Patients With Artificial Pacemakers.

Brit. Heart J. (1964) 26, 737.

51. S o w t o n , E. , T h o r b u r n , Ch. , R o y , P. :

Haemodynamic Changes During Cardiac Pacing.

in: "Cardiac Pacing", edited by H. J. Th. Thalen 24 - 30 (1973) Assen, The Netherlands.

52. Z o l l , P. M. :

A History Of Electric Cardiac Stimulation.

in "Cardiac Pacing", edited by H. J. Th. Thalen 4 - 17 (1973) Assen, The Netherlands.

53. Z o l l , P. M. , F r a n k , H. A. et al :

Long-Term Electric Stimulation Of The Heart Stokes-Adams Disease.

Ann. Surg. 154 / 330 (1961).

## VIII. LEBENSLAUF

| | |
|---|---|
| 13. Augsut 1949 | geboren in Bremen als Tochter des Kaufmanns Peter W. Bading und der Lehrerin Maria Obermeier geb. Meyer, gesch. Bading |
| 1956 - 1958 | Volksschule in Bremen |
| 1958 - 1960 | Volksschule in München |
| 1960 - 1969 | Gymnasium, Max-Josef-Stift, München |
| 26. Juni 1969 | Abitur am Max-Josef-Stift, München |
| 1969 - 1972 | Studium der Geschichte an der Ludwig Maximilians-Universität, München |
| April 1972 | Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Ludwig Maximilians-Universität, München |
| 2. November 1973 | Heirat mit dem Arzt Dr. R. Plößl |
| Oktober 1974 | Physikum |
| August 1975 | 1. Teil des medizinischen Staatsexamens |
| August 1977 | 2. Teil des medizinischen Staatsexamens |
| Oktober 1977 - September 1978 | Praktisches Jahr |
| 9. und 10. Oktober 1978 | Schriftlicher Teil des 3. Staatsexamens |
| 29. November 1978 | Mündlicher Teil des 3. Staatsexamens |
| 4. Dezember 1978 | Approbation |

Für die freundliche Unterstützung

bedanke ich mich herzlich bei

Prof. E. König

Dr. W. Nechwatel

Dr. D. Gronski

Dr. A. Eversmann